(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

УДК: 669.21:622.765.4:66.061 10.70769/3030-3214.SRT.3.2.2025.27

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ В ПРОЦЕССЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ СЫРЬЯ УПОРНОГО СОСТАВА

Сайфуллаев Фаррухжон Ибодович
Ассистент, Навоийский государственный горный и технологический университет, Навои, Узбекистан
E-mail: farruxsayfullayev96@mail.ru
ORCID ID: 0009-0005-0641-1956

Нурмуратова Шахло Ойбек кизи
Студентка, Навоийский государственный горный и технологический университет, Навои, Узбекистан
E-mail: nurmurodovashahlo44@gmail.com

Аннотация. *В статье обсуждаются процессы и различные методы гидрометаллургической переработки сложных золотосодержащих пирит-арсенопиритовых руд и концентратов, а также учитываются преимущества и недостатки этих процессов. К данным методам относятся традиционные технологии, бактериальное окисление, а также выборочное выщелачивание при высоких и низких температурах с последующей обработкой цианидом. Недостатки этих методов включают проблемы, связанные с разделением жидкой и твердой фаз. Процессы дегидратации являются неотъемлемой частью гидрометаллургических технологий. Неэффективное разделение фаз может снизить производительность оборудования и увеличить потребление энергии. Авторы рассматривают решения, направленные на повышение эффективности использования сырья и его полного извлечения.*

Ключевые слова: *Гидрометаллургия, Драгоценные металлы, Сложносоставляющее сырьё, Процесс плавки, Осаждение, Экологические аспекты, Экономическая эффективность, Процессы дегидратации, Концентрация,Фильтрация.*

MURAKKAB TARKIBLI XOM-ASHYOLARDAN QIMMATBAHO METALLARNI AJRATIB OLISH JARAYONIDA KOMBINATSIYALASHGAN USULLARNING QO‘LLANILISHI

Sayfullayev Farruxjon Ibodovich
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti assistenti, Navoiy, O‘zbekiston

Nurmuratova Shahlo Oybek qizi
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti talabasi, Navoiy, O‘zbekiston

Annotatsiya. *Maqolada murakkab oltin tarkibli pirit-arsenoperit ruda va boyitmalarni kombinatsiyalashgan usullar yordamida qayta ishlash jarayonlari va turli usullari muhokama qilindi, hamda jarayonlarning afzalliklari va kamchiliklari hisobga olindi. Ushbu usullarga an’anaviy texnologiyalar, bakterial oksidlash, shuningdek, yuqori va past haroratdagi tanlab eritish va keyingi sianid bilan ishlov berish jarayonlari kiradi. Ushbu usullarning kamchiliklari suyuq va qattiq fazalarni ajratish bilan bog‘liq muammolarni o‘z ichiga oladi. Suvsizlantirish jarayonlari gidrometallurgik jarayonlarning ajralmas qismidir. Eritma tarkibiga o‘tmay qolgan fazalarni ajratish jarayoni uskunaning samaradorligini pasaytirishi va energiya iste’molini oshirishi mumkin.*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

Kalit so'zlar: *gidrometallurgiya, metallar, murakkab tarkibli xom-ashyo, eritish jarayoni, cho'ktirish, ekologik jihatlar, iqtisodiy samaradorlik, quyultirish, filtrlash.*

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF COMBINED TECHNOLOGICAL METHODS FOR THE EXTRACTION OF PRECIOUS METALS FROM COMPLEX ORES

Sayfullaev Farrukhjon Ibodovich
Assistant of the Navoi State Mining and Technological University, Navoi, Uzbekistan

Nurmuratova Shahlo Oybek kizi
Student of the Navoi State Mining and Technological University, Navoi, Uzbekistan

Abstract. *This paper explores the hydrometallurgical treatment of complex gold-bearing pyrite-arsenopyrite ores and concentrates, highlighting a range of processing techniques along with their respective benefits and limitations. The discussed methods encompass conventional technologies, biooxidation, and selective leaching conducted at varying temperatures, typically followed by cyanidation. A common drawback among these approaches is the challenge of efficiently separating solid and liquid phases. Dehydration steps play a critical role in hydrometallurgical systems, as poor phase separation can negatively impact equipment performance and lead to higher energy demands. The authors propose strategies aimed at enhancing raw material utilization and improving overall process efficiency.*
Keywords: *Hydrometallurgy, Precious metals, Complex composition raw materials, Smelting process, Precipitation, Environmental aspects, Economic efficiency, Dehydration processes, Concentration, Filtration.*

Введение. По мнению экспертов, основной рост объема мирового производства золота в этом столетии будет обеспечен за счет широкого использования сложных и трудно обогащаемых золотоносных руд и концентратов [6]. Это приводит к повышению требований к переработке таких руд, поскольку их эффективная обработка требует более сложных технологий и усовершенствованных схем производственных процессов. К таким методам относятся технологии, такие как гравитационное обогащение, флотация, обжиг, плавка и гидрометаллургическая плавка (селективная плавка) [12].

Более 30% от общих мировых запасов золота составляют руды, которые трудно обогатить.

Эти руды в основном делятся на две основные категории:

1. Руды с золотом в кремниевых (кварцевых) минералах;
2. Руды, содержащие золото в сульфидных соединениях.

В процессе измельчения руды только небольшая часть мелко диспергированных золотых частиц, связанных сульфидами, становится доступной на поверхности, в то время как основная масса остается в пирит или арсенопирите. Сложность сульфидных золотых руд заключается в том, что золото присутствует не только в виде мелко диспергированных частиц натурального металла в сульфидных минералах, но и в виде твердого раствора, то есть в виде коллоидных частиц [7].

Целью данного исследования является рассмотрение основных преимуществ технологии автоклавного гидрометаллургического переработки сложных исходных материалов, таких как пирит-арсенопиритовые руды и концентраты. Исследование также направлено на изучение влияния определенных параметров на последующее сгущение мелкодисперсных растворов, полученных в процессе окислительного селективного растворения в автоклаве. На основе анализа существующих методов переработки будет проведена оценка преимуществ технологии автоклавной переработки для сложных сульфидных золотоносных материалов, в частности, процесса селективного плавления при низких темпе-

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

ратурах. Будут определены свойства, наблюдаемые в растворе после этого процесса селективного плавления, а также факторы, влияющие на сложности последующих этапов. Предложенные оптимальные условия должны обеспечить повышение эффективности процессов отливки и фильтрации.

Анализ литературы и методы. Сложные сульфидные золотоносные руды содержат золото в виде мелко диспергированных частиц, и методы их переработки зависят от ряда факторов, таких как состав руды и концентрата, а также технологические и механические свойства. На данный момент существует несколько технологий извлечения золота из сульфидных золотоносных материалов. К ним относятся термохимические методы (например, обжиг), химические методы (например, селективное плавление), механические процессы (например, измельчение) и их комбинированные подходы [13].

Один из традиционных методов извлечения золота из золотоносных руд сложного состава включает процессы обогащения с использованием флотации, окислительное обжигание полученных концентратов и последующую цианидизацию обожженных концентратов [12]. Несмотря на то, что этот метод достаточно прост, он имеет несколько серьезных недостатков:

Экологический ущерб, вызванный сульфидами и высоким уровнем токсичных отходов арсенита;

Образование покрытий из соединений с низкой температурой плавления на поверхности золотых частиц и как следствие - низкая извлеченность золота, а также смешивание частиц в сублимациях арсенита.

Высокий уровень токсичного арсенита - это цена процессов нейтрализации оксидов.

В настоящее время традиционные методы извлечения золота из сложных пирит - арсенопиритовых руд заменяются гидрометаллургическими технологиями. Причина этого заключается в отсутствии газовых выбросов сульфидных и арсенитных соединений в процессе, а также в выделении арсенита в виде малотоксичных соединений, которые могут быть выпущены в суспензионный бассейн через сточные воды, из которых их можно удалить. Эти технологии максимально соответствуют требованиям охраны окружающей среды. Кроме того, гидрометаллургические технологии обеспечивают более высокое извлечение золота по сравнению с другими методами. В настоящее время при переработке сложных золотоносных материалов преобладают такие методы, как бактериальная и автоклавная сепарация, а также цианидизация твердых остатков (осадков), образующихся в более поздних стадиях процесса [4, 6, 7, 8]. Преимущества этих методов связаны с целостным подходом к переработке сырья и высокой изоляцией всех ценных компонентов.

Это исследование посвящено бактериальному селективному плавлению сложных золотоносных руд, в которых золото присутствует в виде мелких частиц в сульфидных минералах, таких как пирит и арсенопирит. Метод включает бактериальное разложение сульфидных минералов, а затем очистку и обработку бактериальных растворов после селективного растворения, а также цианидизацию остатков (осадков), образующихся в процессе бактериального окисления [3, 9]. Процесс бактериального селективного плавления может значительно повысить извлечение золота за счет разложения сульфидов с использованием кислотных бактерий. Эта технология широко используется в различных странах-производителях золота, таких как Южная Африка, Австралия, Китай, Узбекистан и другие [14]. Технологическая последовательность переработки золотоносных концентратов с использованием бактериального окисления показана на рисунке 1.

Исследования показали, что микроорганизмы играют важную роль в формировании и преобразовании руд, а также в их способности окислять и растворять сульфидные минералы в природных условиях.

Технология бактериального окисления совмещается с добавлением раствора аммонийного сульфата и серной кислоты в переработанные растворы флотационного концентрата, который служит источником для извлечения золота, при этом содержание твердой фазы в подготовленной суспензии

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

должно быть не менее 15%. Полученная суспензия направляется в емкости, оснащенные механическим перемешиванием и аэрацией, а затем подвергается процессу селективного плавления.

Бактериальное окисление сульфидных минералов приводит к образованию серной и мышьяковой кислот, что подтверждается следующими реакциями [9]:

$$2FeS_2+6O_2 = Fe_2(SO_4)_3+S^0 \quad (1)$$

$$S^0+1{,}5O_2+H_2O = H_2SO_4 \quad (2)$$

$$4FeAsS+13O_2+6H_2O = 4FeSO_4+4H_3AsO_4 \quad (3)$$

После 60 часов бактериального окисления скорость окисления арсенопирита достигает 80-90%. Эффективность бактериального окисления близка к процессу автоклавного окисления и более высока, чем у метода обжига. Однако метод автоклавного окисления обеспечивает более полное окисление сульфидных минералов, что, в свою очередь, позволяет достичь высоких уровней извлечения золота. Кроме того, бактериальное окисление требует использования громоздкого оборудования, что приводит к увеличению капитальных затрат.

Рис.1. Технологическая схема переработки золотосодержащих концентратов с использованием бактериального окисления.

Процессы автоклавного окисления позволяют гидрометаллургическим технологиям повысить эффективность прямой сепарации цветных металлов, улучшить их селективное разделение и образовывать новые соединения, что облегчает обработку растворов [10]. Кроме того, использование этих технологий предотвращает потерю золота из-за пыли и устраняет необходимость в сложных системах сбора и очистки пыли.

В кислой среде автоклавное окисление сульфидных минералов, особенно арсенопирита и пирита, может быть достигнуто через следующие реакции в процессе селективного растворения [7]:

$$4FeAsS+13O_2+6H_2O = 4FeSO_4+4H_3AsO_4 \quad (4)$$

$$2FeS_2+7O_2+2H_2O = 2FeSO_4+2H_2SO_4 \quad (5)$$

$$4FeAsS+7O_2+4H_2SO_4+2H_2O=4FeSO_4+4H_3AsO_4+4S^0 \quad (6)$$

$$FeS_2+2O_2 = Fe_2SO_4+S^0 \quad (7)$$

Элементарная сера является нарушающим фактором в процессе, так как она плавится при температурах выше 1120°C и образует покрытие на неокисленных сульфидных частицах, содержащих мелкодисперсное золото. Это покрытие препятствует полной окисляемости частиц и приводит к образованию нерастворимого осадка [3].

Для предотвращения образования элементарной серы процесс проводится при повышенных температурах в диапазоне от 180 до 300°C. Этот температурный диапазон обеспечивает полное окисление сульфидной серы, что способствует образованию сульфат-ионов. Технологическая схема гидрометаллургической переработки золотоносных пирит-арсенопиритовых концентратов с использованием метода автоклавного селективного плавления при высоких температурах представлена на рисунке 2.

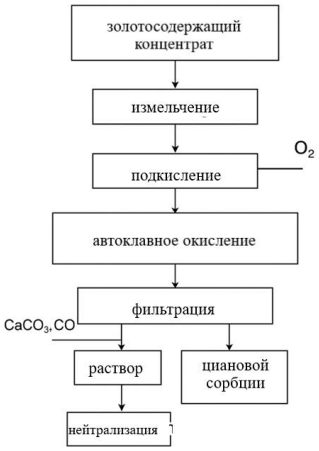

Рис.2. Технологическая схема процесса высокотемпературной обработки комплексных золотосодержащих пирит-арсенопиритовых концентратов в автоклаве.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

Общая технологическая схема переработки пирит-арсенопиритовых концентратов включает следующие основные этапы: флюсация золотосодержащего флотационного концентрата, декарбонизация (кислотная обработка), то есть процесс предварительного отделения карбонатных соединений от флотационного концентрата, автоклавное окислительное селективное растворение, разделение твердых и жидких фаз (фильтрация окисленного раствора), нейтрализация раствора известью или известняком и окончательная сорбционно-цианидная обработка.

Существующие технологии переработки золотоносных сульфидных сырьевых материалов с использованием автоклавного окислительного селективного плавления требуют строгих физико-химических условий. Например, необходимо использовать достаточно высокие температуры, так как это помогает предотвратить образование элементарной серы, в противном случае эффективность процесса снижается. Однако сложность и высокая стоимость переработки сложных сырьевых материалов в процессе высокотемпературного селективного плавления делают этот метод непрактичным. В связи с этим одновременно исследуются возможности селективного растворения сульфидных концентратов при окислительных условиях, в частности при низких температурах [5].

Технологическая схема переработки трудно разделяемых золотоносных пирит -арсенопиритовых концентратов с использованием технологии низкотемпературного окислительного селективного плавления представлена на рисунке 3 [1].

Необходимые условия для процесса низкотемпературного окислительного селективного растворения следующие: соотношение жидкой и твердой фаз должно составлять 3:1, температура окисления - 130°C, частичное давление кислорода - 1,0 МПа, а продолжительность процесса автоклавного окислительного селективного растворения определяется моментом прекращения потребления кислорода.

Для сложных золотоносных пирит -арсенопиритовых концентратов процесс предварительного отделения карбонатных соединений (декарбонизации) является важным этапом, поскольку эти соединения при автоклавировании выделяют газообразный CO2, что приводит к снижению частичного давления кислорода и значительному уменьшению его эффективного использования. Для реализации процесса декарбонизации требуются следующие условия: температура процесса должна быть в пределах 60-65°C, в качестве реагента используется разбавленная серная кислота в соотношении 1:1. Кислота смешивается с материалом на протяжении 20-30 минут, пока pH не достигнет 2.0-2.2.

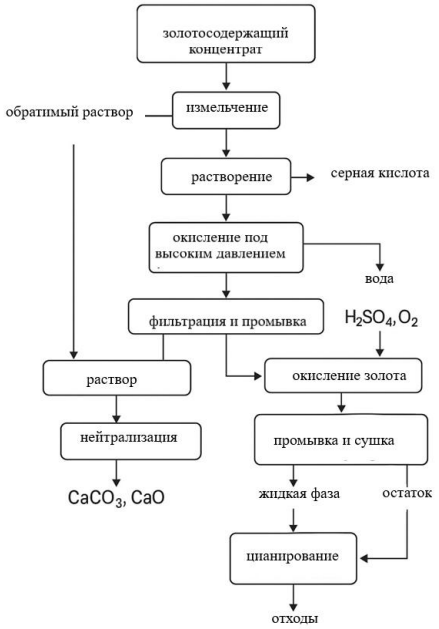

Рис.3. Технологическая схема процесса автоклавной обработки сложных золотосодержащих пирит-арсенопиритовых концентратов при селективных параметрах выщелачивания и относительно низких температурах.

Дегидратация раствора после процесса низкотемпературного селективного растворения представляет собой еще одну проблему. Необходимым условием для начала процесса автоклавного селективного плавления при относительно низких параметрах является тонкое или ультратонкое измельчение для извлечения золотоносных сульфидных минералов. Процесс измельчения в шаровых мельницах должен проводиться при следующих параметрах: 180 металлических шаров, скорость

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

вращения 34 об/мин и время измельчения 7 часов. В этом ультратонком измельчении более 80% частиц имеют размер менее 10-15 микрон, что вызывает высокую степень искажения в кристаллической решетке этих минералов. Это повышает активность кристаллической решетки минералов и улучшает эффективность процесса селективного плавления. Однако ультратонкое измельчение концентрата до микронных частиц приводит к значительным трудностям в проведении дальнейших процессов конденсации и фильтрации [11].

Исследования выявили преимущества технологии, основанной на снижении температуры процесса окисления, то есть преимущества низкотемпературного селективного плавления [2]. К этим преимуществам относятся:

- Низкая стоимость автоклавного оборудования;
- Снижение капитальных затрат, необходимых для реализации промышленного процесса;
- Снижение вредных воздействий органического углерода и хлоридов;
- Положительное влияние на извлечение золота в гидрометаллургическом цикле.

Несмотря на многочисленные преимущества этой технологии, существуют некоторые недостатки, связанные с растворами и параметрами процесса, полученными при низкотемпературном селективном плавлении, которые влияют на последующее разделение жидкой и твердой фаз. Сложность процесса дегидратации раствора после низкотемпературного селективного растворения обусловлена высокой дисперсией твердой фазы и большим количеством солей в жидкой фазе, что не позволяет процессу достигать требуемых параметров эффективности.

Эффективность процесса заливки определяется не только минералогическим и гранулометрическим составом твердой фазы, но и такими факторами, как количество твердых частиц в исходном растворе и конденсированном продукте, вязкость жидкой фазы, плотности твердой и жидкой фаз, температура раствора, pH среды и наличие реагентов.

Для улучшения дегидратации растворов, насыщенных солями в жидкой фазе, могут быть использованы следующие методы [1]:

- Снижение содержания соли путем разбавления;
- Применение синтетических полиакриламидных флокулянтов.

Частичная или полная нейтрализация раствора известняком после процесса автоклавного окислительного селективного растворения:

- Процесс нейтрализации не только снижает содержание соли в растворе, но и способствует отделению арсената в виде малорастворимого железного арсената, который затем направляется в зону утилизации отходов;
- Повышение температуры, что увеличивает эффективность процесса заливки.

Для исследования воздействия расхода флокулянта на свойства конденсированного раствора было проведено несколько экспериментов с различным расходом флокулянта после процесса автоклавного окислительного селективного растворения. Известно, что вязкость раствора снижается с увеличением температуры. Поэтому были проведены специальные эксперименты для оценки температурного фактора, в которых испытания проводились в водном термостате при различных температурах. Улучшения конденсированных параметров наблюдались в температурном диапазоне от 25°C до 80°C. Например, при расходе флокулянта 300 г/т при температуре 25°C специфическая пропускная способность заливки составила 3,17 т/м²·день, а при температуре 80°C этот показатель увеличился до 3,75 т/м²·день. Также отношение между жидкой и твердой фазами в конденсированном продукте при 80°C было на 20% ниже, чем при температуре 25°C.

Обсуждение. В последние годы активно развиваются технологии, основанные на автоклавном селективном плавлении с относительно низкими параметрами для сульфидного сырья. Для реализации этого процесса сырье требует ультратонкого измельчения, что вызывает ряд трудностей в процессе дегидратации окисленного раствора. Более того, эффективность процесса ухудшается из-за высокого содержания солей в окисленном растворе.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

Поиск способов улучшения процесса дегидратации ультратонких окисленных растворов при переработке сложных золотых пирит-арсенопиритовых руд и концентратов является одной из наиболее актуальных проблем в настоящее время. При переработке цветных металлов, особенно при обработке больших объемов продукции, важно улучшить процессы сгущения и фильтрации. В некоторых предприятиях процессы ультратонкой сепарации фаз и дегидратации составляют около 30% от общей стоимости переработки, что существенно влияет на стоимость производства полученных концентратов. Кроме того, площадь, занимаемая машинами для фильтрации, составляет около 25% от общей площади предприятия. Интенсификация процессов конденсации и фильтрации позволяет снизить материальные потери за счет излишка конденсированных реагентов и повысить извлечение ценных компонентов. Это поможет повысить производственную эффективность предприятия без установки дополнительного оборудования. Это можно сделать путем оптимизации параметров процессов заливки и фильтрации, модернизации существующего оборудования и разработки нового высокопроизводительного оборудования для фильтрации. Также использование различных синтетических реагентов помогает ускорить осаждение твердой фазы в суспензии. К таким веществам могут относиться электролиты, водоотталкивающие реагенты и синтетические высокомолекулярные флокулянты. Синтетические полиэлектролиты состоят из активных гидрофильных функциональных групп, таких как $CONH_2$ и COOH. Эти полимерные соединения ионизируются в растворах, и их макромолекулы получают положительный или отрицательный заряд в зависимости от типа ионных групп. В системах, трудно поддающихся дегидратации из-за дисперсии, наличие таких веществ облегчает и эффективно способствует осаждению суспензии путем образования агрегатов, то есть флокуляции.

Реагент Prestol 2510 (Химическая компания, Санкт-Петербург) оказался наиболее эффективным флокулянтом для дегидратации растворов после автоклавного окислительного низкотемпературного селективного растворения пирит-арсенопиритовых концентратов. Этот флокулянт позволяет провести процесс осаждения с максимальной эффективностью и обеспечивает качественное разделение жидкости. Оптимальное потребление флокулянта составляет 300-450 г/т, так как при меньшем потреблении не обеспечивается быстрое осаждение твердой фазы и эффективное осаждение осадка. При повышении температуры до 80°C и снижении содержания соли в жидкой фазе автоклавного раствора до 1-1,9 моль/л, специальная эффективность процесса заливки может быть увеличена до 1,2-3,75 т/м²·день, а специальная производительность фильтрационного процесса - до 38-40 кг/м²·час.

Заключение. В заключение, основной тенденцией в развитии сырьевой базы в золотодобывающей промышленности является ухудшение качества минерального сырья, а также необходимость переработки золотоносных руд и концентратов, в которых золото рассеивается в кристаллической решетке сульфидных минералов в виде мелких дисперсных частиц. Применение современных автоклавно-гидрометаллургических технологий не только позволяет комплексно использовать пирит-арсенопиритовые руды низкого качества и сложные с точки зрения переработки золотосодержащие материалы, но и решает проблемы охраны окружающей среды и сохранения природных ресурсов. Проблемы, возникающие в процессе переработки таких руд с применением автоклавно-гидрометаллургических методов, могут быть решены с помощью комплексного подхода, основываясь на обогащении и совместном применении металлургических методов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иваник С.А. 2002. Разделение и освобождение ультратонких фаз в технологии автоклавного усиления упорных золотосодержащих концентратов. [Separation and dehydration of ultra-fine phases in the autoclave leaching technology of refractory gold concentrates], Ph.D. thesis, St. Petersburg. Mining University. pp. 133.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

2. Korans I.J. and Angew J.E. 1993. Activation of a mineral species. Patent No. 5232491 USA. MCI 22 B 11/08, No. 902992. Appl. 23.06.1992; Publ. 03.0801993. 5C, Australia, 1993.
3. Кузякина Т.И., Хаинасова Т.С. и Levenets O.O. Биотехнология извлечения металлов из сульфидных руд [Biotechnology for extracting metals from sulfide ores], KRAUNTS Bulletin. Earth Science. 12:76-86. 2008.
4. Ладеичшиков В.В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд [Gold and silver extracting technology from refractory ores], Иркутск, OJSC "Irgiredmet". 1999.
5. Lapin A.Yu., Bitkov G.A. и Shneerson Ya.M. Автоклавно-гидрометаллургическая переработка упорных золотосодержащих сульфидных материалов при пониженных температурах [Autoclave-hydrometallurgical processing of refractory gold-bearing sulphide materials at low temperatures]. Non-ferrous Metals. 12:39-44. 2011.
6. Naboychenko S.S., Shneerson Ya.M. и L.V. Chugaev. Автоклавная гидрометаллургия цветных металлов [Autoclave hydrometallurgy of non-ferrous metals], Екатеринбург, GOU USTU - UPI, pp. 570-575. 2002.
7. Naboychenko S.S., Shneerson Ya.M., Kalashnikova M.I., и Chugaev L.V. Автоклавная гидрометаллургия цветных металлов [Autoclave hydrometallurgy of non-ferrous metals]. GOU USTU - UPI, 2, 351-396. 2009.
8. Самихов Ш.Р. Технология переработки упорных и бедных золотосодержащих руд [Processing technology of refractory and low-grade gold ores], Ph.D. thesis, Dushanbe, pp. 136. 2006.
9. Шамин В.Ю. Чановое биоокисление золото-сульфидно-арсенопиритового концентрата [Tank bio-oxidation of gold-sulphide-arsenopyrite concentrate]. Mining Bulletin of Uzbekistan. 2(21):45-49. 2005.
10. Shneerson Ya.M. and Naboychenko S.S. Тенденции развития автоклавной гидрометаллургии цветных металлов [Trends in the development of autoclave hydrometallurgy of non-ferrous metals]. Non-ferrous Metals. 3:15-20. 2011.
11. Sizyakov C.M., Ivanik S.A. and Fokina S.B. Исследование процессов сгущения и фильтрации тонкодисперсного оксидного пульпа [Study of thickening and filtration processes of finely dispersed oxidized pulps]. Enrichment of Ores. 2:21-25. 2012.
12. Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов [The theory of hydrometallurgical processes]. Moscow: Metallurgy. 424. 1983.
13. О.У.Фузайлов, Ф.И.Сайфуллаев, И.И.Мажидова, С.Г.Жабборова. Исследование способов интенсификации процесса обжига сульфидных золотосодержащих концентратов с применением микроволнового излучения. Journal of Advances in AND Engineering Technology Vol.2(6) 2022.
14. Aripov A.R., Sayfullayev F.I., Qurbonov M.N., Majidova I.I. O‘zbekistonda kon-metallurgiya sanoatining shakllanish va rivojlanish tarixi. Sanoatda raqamli texnologiyalar ISSN: 3030-3214, Volume 2, № 3:2024.